

I ŚLUZY ŻEGLUGOWE '84 SCHIFFFAHRTSSCHLEUSEN

Wrocław

MATERIAŁY KONFERENCYJNE

22-23 Mai

Fritz Büsching)*

DRGANIA WYMUSZONE WRÓT PRZESUWANYCH POWSTAŁE WSKUTEK NIESZCZELNOŚCI NA PROGU

Badania na śluzach w warunkach naturalnych poświęcono nieszczelnościom na progu, których zakres zależny był od istniejących poziomów wody. Udowodniono, że przyczyną samowzbudnych drgań konstrukcji wrót są nieszczelności uszczelnień na progu śluzy, które prowadzą do uszkodzeń elementów konstrukcji. Opisano hydrodynamiczny mechanizm powstawania drgań wskutek niezgodnego z przewidywanym opływem blachy sprężystej. O stabilizacji drgań, zwłaszcza odkształcającej bramy decyduje głównie różnica poziomów wody.

SCHWINGUNGSANREGUNG EINES SCHIEBETORES INFOLGE UNDICHTIGKEIT AM DREMPSEL

Bei Untersuchungen an der naturgrossen Schleuse haben sich Undichtigkeiten am Drempel ergeben, deren Ausmass von der vorhandenen Wasserstandsdifferenz abhängig war. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Undichtigkeit an der Drempeldichtung die Ursache für selbsterregte Schwingungen des Torkörpers war, die zwangsläufig zu Schäden an den Auflagerelementen führen mussten. Anschliessend wird der hydrodynamische Anregungsmechanismus infolge unplanmässiger Umströmung der Fererblechdichtung erklärt. Für die Stabilität der Schwingungen hat sich dabei insbesondere die Tordurchbiegung in Abhängigkeit von der vorliegenden Wasserstandsdifferenz als entscheidend herausgestellt.

* Dr.-Ing. Leichtweiss - Institut für Wasserbau T.U.Braunschweig

Instytut Budownictwa Wodnego i Ziarnego, Akademia Rolnicza we Wrocławiu
Zarząd Odrzańskiej Drogi Wodnej we Wrocławiu

Abstract

Self-excited oscillations of a lock gate are controlled by the actual size of a gap created by an unsatisfactorily working bottom sealing configuration.

Zusammenfassung

Die Steuerung selbsterregter Schwingungserscheinungen an dem Schiebetor einer Hafenschleuse wird auf ein bestimmtes am Drempel vorhandenes Undichtigkeitsmaß zurückgeführt, das markant von der momentanen Torkörperdurchbiegung abhängig ist.

Einleitung

Bereits zwei Jahre nach Inbetriebnahme einer Hafenschleuse an einem westdeutschen Tidefluß waren Schäden an den Laufrollen des Unterwagens des äußeren Schiebetores aufgetreten mit der Folge, daß die Schleuse schließlich für den Zeitraum der Reparatur stillgelegt werden mußte.

Bei der Suche nach den Ursachen der insbesondere an der Lagerung der Laufrollen festgestellten Schäden wurden als Besonderheiten Undichtigkeits- und Schwingungserscheinungen des betreffenden Tors (verbunden mit Schlaggeräuschen) ermittelt, deren Ausmaße markant von der am Tor in seiner Schließstellung vorhandenen Wasserspiegeldifferenz abhängig waren. Insbesondere mit Bezug auf die sich mit der Tide relativ zum Schleusenwasserstand ändernde Wasserspiegeldifferenz

$$H = QW - UW$$

konnten die betreffenden Erscheinungen drei Phasen etwa wie folgt zugeordnet werden:

PHASE I: $H < 0,6 \text{ m}$

Undichtigkeit am Drempel;
keine Schwingungen des Torkörpers;

PHASE II: $0,6 \leq H \leq 1,1 \text{ m}$

Undichtigkeit am Drempel;
Schwingungen des Torkörpers in Richtung der
Schleusenachse mit einer Frequenz $f \approx 2 \text{ Hz}$ und Amplituden
 $\max A = \pm 2,5 \text{ cm}$ und

PHASE III: $H > 1,1 \text{ m}$

keine Undichtigkeit;
keine Schwingungen.

Da die betreffenden Schäden unter anderem auch durch die in Phase II vorhandenen Schwingungen begründet werden können, war für eine nachhaltige Schadensbeseitigung die Erklärung des Anregungsmechanismus unerlässlich.

Auflager- und Dichtungskonfiguration des Schiebetores

Da Schwingungen nur im Falle eines höheren Außenwasserstandes (im Vorhafen) relativ zum Kammerwasserstand aufgetreten waren, ist in Abb.01 auch nur dieser Lastfall des (beidseitig kehrenden) Schiebetores in der Aufsicht vereinfacht dargestellt.

Demnach ist der Torkörper bezüglich der Wasserlast am Massivbauwerk der Schleusenkammer in der Art eines Balkens auf zwei Stützen aufgelagert. Dabei sind als Auflagerelemente an beiden Seiten tropische Hartholzbalken (Bongossiholz) vorhanden, die gleichzeitig die Funktion der Seitendichtung übernehmen.

An der Unterkante des Tores ist demgegenüber eine Federblechdichtung vorhanden, die bei Schiebetoren noch immer eine übliche Konstruktion darstellt, vergl. Abb.02.

In der Schließposition des Tores (gemäß Abb.01) soll hierbei bekanntlich die Dichtigkeit an der Torunterkante durch den hydrostatischen Wasserdruck auf der Oberwasserseite (hydraulisches Dichtungsprinzip) erzielt werden.

Im vorliegenden Fall war die sich aus der Geometrie des Tores ergebende horizontale Wasserlast mit der Kinematik zur Aufnahme des Toreigengewichtes in der Weise abgestimmt, daß bereits rechnerisch eine Wasserspiegeldifferenz von

$$H \leq 0,10 \text{ m}$$

ausreichen sollte, um nach Ausführung einer Translationsbewegung von 25 mm das Tor in die planmäßige Schließlage zu bringen. Eine Verformung des Federblechs - wie etwa in der Abb.02 dargestellt - sollte hierzu nicht erforderlich sein.

Wie bereits eingangs dargelegt, wurde hingegen eine befriedigende Schließlage bei Wasserspiegeldifferenzen

$$H \leq 1,1 \text{ m}$$

tatsächlich nicht erreicht. Die Undichtigkeit an der Torunterkante war dabei durch Abweichungen der Drempelkante von der örtlich unterschiedlichen Position der Federblechdichtung bedingt und war durch Schlickaufwirbelung deutlich nachweisbar.



Abb. 01: Anordnung Schiebetor im Grundriss

Wrota podnoszone w rzucie poziomym

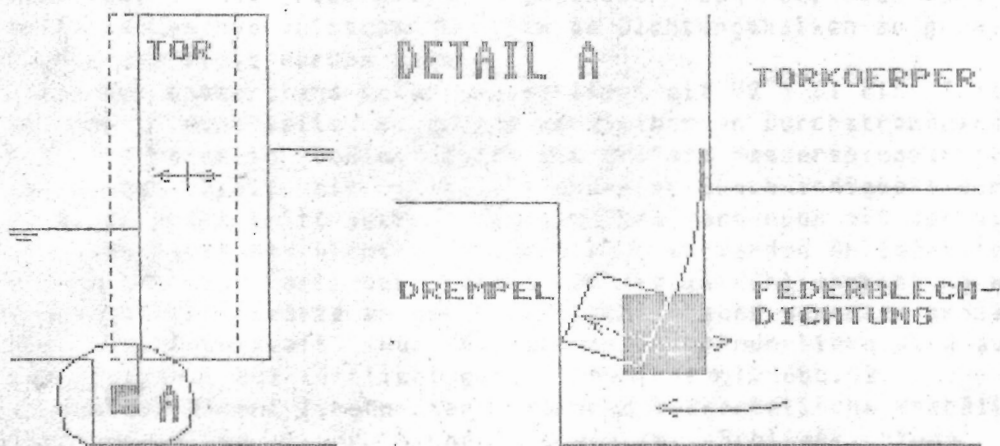


Abb. 02: Schwingbewegungen von Torkoerper und Federblech in Phase II

Ruch drgający wrót i blachy sprężystej w fazie II.

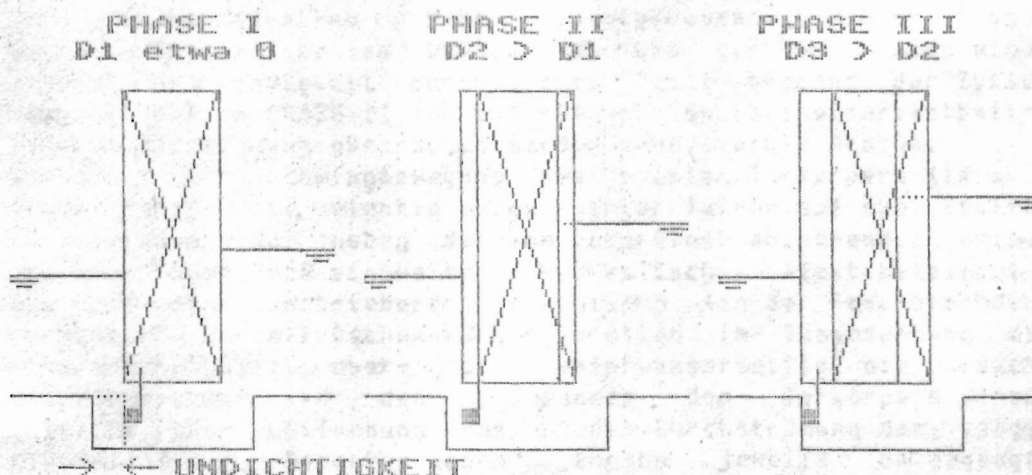


Abb. 03: Verringerung der Undichtigkeit infolge zunehmender Tordurchbiegung D

Zmniejszenie nieszczelności wskutek zwiększenia wygięcia bramy D.

Mechanismus der Schwingungsanregung

Im Gegensatz zu den insbesondere aus dem Wehrbau bekannten Schwingungsanregungsmechanismen bei planmäßiger Über-, Unter- oder auch gleichzeitiger Über- und Unterströmung der Stahlwasserbaukonstruktion ist im vorliegenden Falle die Ursache der beobachteten Schwingungsanregung offenbar in der unplanmäßigen Umströmung der Federblechdichtung zu suchen. Wie nachfolgend dargestellt wird, ist auch hier, wie bei den meisten aus der Literatur bekannten Dichtungsschwingungen (vergl. z.B. PETRIKAT(1979) und KOLKMAN(1979)) die elastische Verformung auch der Stahlkonstruktion als ganzer von besonderer Bedeutung.

In Abb.03 ist die Änderung der relativen Lage der Federblechdichtung zur Gegendichtungsfläche an der Drempelkante in Abhängigkeit von der mit zunehmender Wasserspiegeldifferenz zunehmenden Torkörperdurchbiegung D dargestellt. Demnach können die Verhältnisse der PHASE I dadurch erklärt werden, daß die Wasserspiegeldifferenzen $H < 0,6$ m nur sehr kleine Torkörperdurchbiegungen erzeugen und dementsprechend der relativ große Spalt mit kleiner Geschwindigkeit durchströmt wird. Darüber hinaus ist auch die Steifigkeit des Federbleches gegenüber den bei der Durchströmung auftretenden hydraulischen Kräften am Dichtungsbalken zu groß, als daß Dichtung erzielt werden könnte.

Nimmt der Wasserstand außen zu, so liegt mit $D_2 > D_1$ ein Zustand vor, in dem - einerseits wegen des verkleinerten Durchströmquerschnittes und andererseits bedingt durch die größere Wasserspiegeldifferenz am Tor - der Spalt mit wesentlich größerer Geschwindigkeit durchströmt wird. Im Spalt tritt jetzt - insbesondere verbunden mit der hinter der scharfen Kante des Dichtungsbalkens zu erwartenden Ablösungszone - ein Unterdruck auf mit der Folge, daß die in Schließrichtung wirkenden hydraulischen Kräfte an der Federblechdichtung momentan größer werden als die Federkraft (Rückstellkraft). Das Federblech wird ausgelenkt und der Spalt ist (örtlich) geschlossen, vergl. Abb.02.

In diesem Moment liegen aber annähernd hydrostatische Verhältnisse am Dichtungsbalken vor und die in Schließrichtung wirkende hydrodynamische Sogkraft ist augenblicklich entfallen. Wegen des in dieser Phase jedoch noch relativ großen Federweges ist in der Kräftebilanz am Federblech die Rückstellkraft des Federbleches jetzt größer als die oberwasserseitig verbliebene hydrostatische Dichtkraft. Der Dichtungsbalken hebt infolgedessen wieder von der Gegendichtungsfläche am Drempel ab und der Spalt wird wieder mit großer Geschwindigkeit durchströmt. Damit beginnt der Zyklus aufs Neue, so daß in PHASE II von dem klassischen Fall einer selbsterregten Dichtungsschwingung gesprochen werden kann, vergl. Abb.04.

Bezüglich der Schwingbewegung des gesamten Torkörpers (in seiner 1. Eigenfunktion als gelenkig aufgelagerter Balken auf zwei Stützen) ist hinzuzufügen, daß neben den vom Federblech ausgehenden periodischen Kraftwirkungen noch ein weiterer hydraulischer Effekt beteiligt ist: Die mit dem beschriebenen Mechanismus (an der Federblechdichtung) erzeugten Durchflußschwankungen stellen im Zusammenhang mit der Strömungsträgheit ober- und unterwasserseitig die Ursache für Druckänderungen an den Stauwänden des Torkörpers noch in beträchtlicher Entfernung vom Ort der Durchströmung dar, vergl. auch MILLER(1977). Dementsprechend kommen jeweils entgegengesetzte Wasserspiegelauslenkungen in Ober- und Unterwasser zustande, je nachdem, ob der Dichtungsspalt plötzlich geöffnet oder geschlossen

wird. Die auf diese Weise erzeugten Schwall- und Sunkerscheinungen stellen einerseits selbst bereits Wellen dar; diese unterstützen andererseits aber noch die beobachteten horizontalen Torauslenkungen (in Richtung der Schleusenachse), die ihrerseits zur Wellenerzeugung in Ober- und Unterwasser beitragen. Demnach kann auch bezüglich der Torkörperbewegung von einer selbsterregten Schwingung (durch Rückkopplung) gesprochen werden.

Im zugehörigen Kreislaufdiagramm der Abb.05 sind der Übersicht halber Schwall- und Sunkerscheinungen nur prinzipiell (bezogen auf gleiche Momentanwasserstände in Ober- und Unterwasser) dargestellt. Tatsächlich liegt jedoch wegen des im zeitlichen Mittel höheren Oberwasserstandes eine Schwellbelastung des Torkörpers vor.

In der PHASE III ist schließlich bei der Wasserspiegeldifferenz $H > 1,1$ m ein solches Durchbiegungsmaß $D3 > D2$ erreicht, daß sich eine Auslenkung des Federblechs gegebenenfalls vollständig erübrigt, um Dichtigkeit am Drempel zu erzielen. Zumindest ist aber der verbleibende Spalt so klein, daß die bei dessen Abdichtung erzeugte Federkraft ständig von der oberwasserseitigen hydrostatischen Dichtkraft überdrückt wird. Umgekehrt ist aber auch denkbar, daß - bei weiterem Anstieg der Wasserspiegeldifferenz - die Federblechdichtung infolge übermäßiger Durchbiegung des Torkörpers sogar durch die Behinderung am Drempel negativ, d.h., entgegen der Richtung der hydraulischen Dichtkraft, ausgelenkt wird.

Schlußfolgerungen

Die Gefahr des Auftretens hydro-elastischer Schwingungen ist bei Stahlwasserbaukonstruktionen trotz der im Laufe der Jahre gesammelten Erfahrungen bezüglich der Formgebung derartiger Strukturen auch heute noch aktuell. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, daß mit der Anwendung aufwendigerer statischer Berechnungsverfahren und durch den Konkurrenzkampf der Herstellerfirmen die Konstruktionen immer leichter geworden sind und Spannungsreserven für dynamische Beanspruchungen so gut wie gar nicht mehr freigehalten werden. Aus diesen Gründen sind die Konstruktionen bei immer größer werdenden Stützweiten und Druckhöhen für elastische Verformungen wesentlich empfindlicher geworden, womit es insbesondere bei unplanmäßigen Lastzuständen durch die Steuerung der instationären Anregungskräfte leicht zu umfangreichen Schäden kommen kann, wenn nicht besondere Vorkehrungen hinsichtlich der Schwingungsdämpfung getroffen werden.

Im vorliegenden Falle ist als Schwingungsursache die Undichtigkeit am Drempel einerseits auf eine unzureichende Maßhaltigkeit der Drempelkante und/oder andererseits auf das von der Vorausberechnung abweichende Durchbiegungsmaß des Torkörpers zurückzuführen. Wegen der unübersichtlichen Auflagerung der (zudem aus unterschiedlichen Materialien bestehenden) Federblechdichtung am Torkörper einerseits und an der Drempelkante andererseits dürfte eine derartige Dichtungskonstruktion auch nach einer vorerst sicherlich erzielbaren Anpassung auch weiterhin Ausgangsort unplanmäßiger Belastungszustände bleiben.

Was die Dämpfung der Schwingungen des Torkörpers anbelagt, so hat sich bei der Untersuchung der naturgroßen Schleuse ergeben, daß geringfügige Veränderungen der Reibungsverhältnisse an der seitlichen Torauslagerung bereits ausreichen können, um die Schwingungen vollständig zu unterbinden.

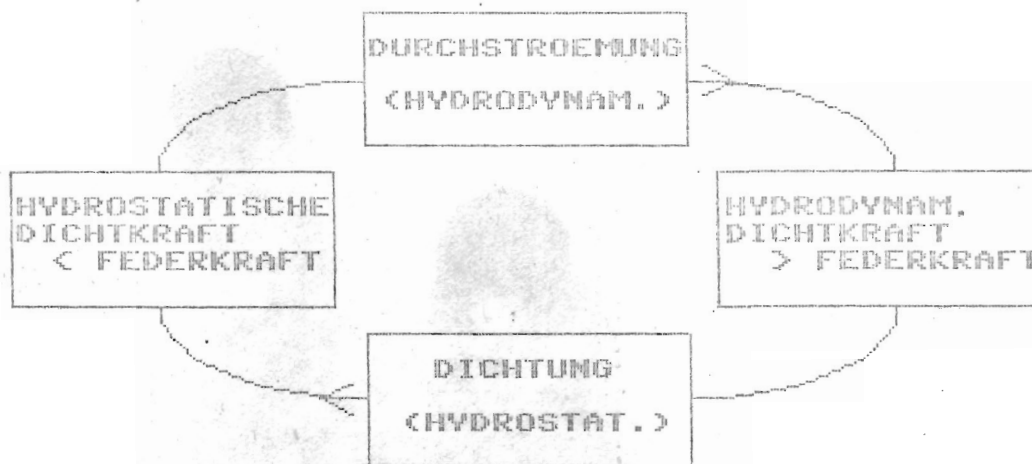


Abb.04: Selbsterregung am Federblech infolge von Durchflussschwankungen
Samowzbudzenie blach sprężystych wskutek zmienności przepływu.

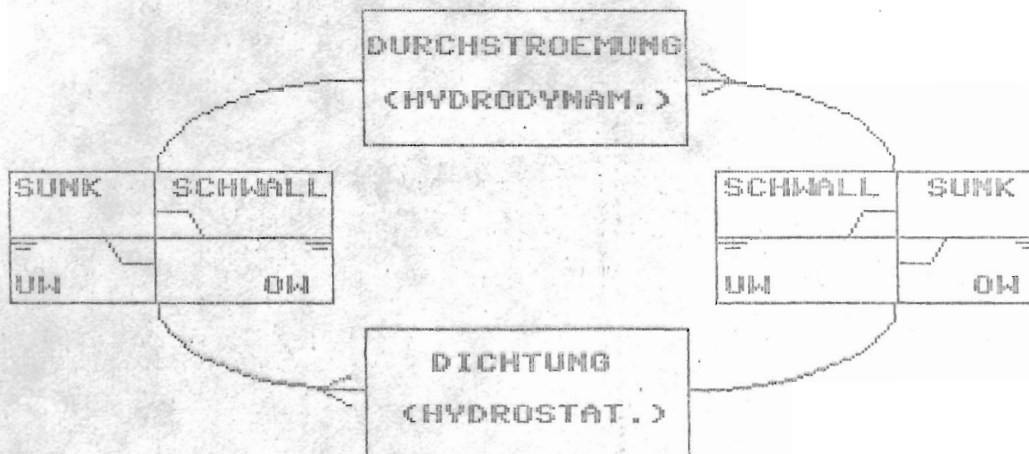


Abb.05: Selbststeuerung der Torkörpererschwingung infolge Durchflussschwankungen
Samosterowanie drgań bramy wskutek zmienności przepływu.

Schrifttum

KOLKMAN, P.A., DEVELOPMENT OF VIBRATION-FREE GATE DESIGN: LEARNING FROM EXPERIENCE AND THEORY, Symposium on Practical Experiences with Flow-induced Vibrations, Karlsruhe, Sept. 1979

MILLER, C., EIN BEITRAG ZUR BESTIMMUNG DER SCHWINGUNGSERREGENDEN KRAEFTE AN UNTERSTRÖMTEN WEHREN, Inst. für Wasserbau, Univ. Stuttgart, Publ.42, 1977

PETRIKAT, K., SEAL VIBRATIONS, Symposium on Practical Experiences with Flow-induced Vibrations, Karlsruhe, Sept. 1979